

ETUDE DES PERFORMANCES D'UN PLANCHER SOLAIRE DIRECT DANS LE CONTEXTE MAGHREBIN

H. KAZEOUIE
A. MOKHTARI
G.C USTO
Y. BERRICHE
ENTP Alger
G. ACHARD
ESGEC Chambéry France

RÉSUMÉ

La technique de chauffage par Plancher Solaire Direct (PSD) est devenue actuellement l'une des solutions les plus performantes dans le domaine du solaire thermique. Nous présentons ici les résultats théoriques de l'application de cette technique en Algérie. L'analyse de l'influence de différents paramètres sur les performances du PSD est étudiée.

MOTS CLÉS

Energie solaire • PSD • ECS • appoint • capteurs solaires • fluide caloporteur • modélisation • économie énergétique • confort thermique.

1. Introduction

La technique de chauffage par plancher a suscité ces dernières années un regain d'intérêt du fait de la possibilité d'utilisation de sources de chauffage à basse température. Le principal avantage de cette technique est lié à l'importance des surfaces d'émission et le degré de confort thermique acquis. Comme le rendement du plancher chauffant est d'autant plus élevé si la température du fluide caloporteur est basse [1], l'utilisation de l'énergie solaire améliore alors considérablement les conditions de confort. Le plancher solaire direct (PSD) est la technique la plus récente de chauffage par le soleil, elle a été lancée en France au début des années 80 par l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Marseille (ESIM) et depuis a fait preuve de simplicité, de confort et d'économie énergétique [2].

Son principe est de faire circuler directement dans un réseau de tubes (généralement en PER) noyé dans le plancher un fluide chauffé par des capteurs sans utiliser de cuves de stockage intermédiaires. Le système ainsi obtenu présente de nombreux avantages par rapport aux systèmes classiques de chauffage solaire sur les plans des coûts, de l'encombrement et de la fiabilité [3].

Comme l'Algérie est très riche en énergie solaire, nous avons pensé à son exploitation dans l'habitat par l'utilisation de cette nouvelle technique dont le principal avantage est l'usage d'une énergie naturelle non polluante, gratuite et inépuisable.

2. Modélisation thermique du bâtiment

Un bâtiment est composé d'un ensemble d'éléments liés les uns aux autres. Cette liaison engendre des transferts thermiques se produisant simultanément : conduction, convection et rayonnement. Alors l'étude d'un système aussi complexe nécessite un travail plus ou moins profond selon le degré de précision et la nature des résultats souhaités.

Le développement de l'informatique a permis l'élaboration de nombreux logiciels très puissants permettant de caractériser ces phénomènes thermiques. Parmi ces logiciels, nous avons

choisi l'utilisation de TRNSYS (a TRansient SYStem simulation program) vue sa souplesse, sa structure modulaire et l'ampleur de son domaine d'application [4]. En effet, chaque élément du bâtiment est traité indépendamment dans des modules appelés TYPES, ce qui permet l'ajout de nouveaux modules sans toucher à la configuration de l'ensemble.

2.1 Bilans thermiques au sein de l'enveloppe

Les transferts thermiques au sein de l'enveloppe sont traités en utilisant le type 19 de TRNSYS. Ce type est utilisable pour l'estimation des besoins de chauffage pour un local monozone où la température d'air intérieur est supposée uniforme.

Sachant qu'une paroi peut être le siège de différents transferts thermiques :

- la conduction au sein de la paroi,
- la convection entre les faces de la paroi et les ambiances qu'elle sépare,
- le rayonnement courtes et grandes longueurs d'onde (CLO et GLO).

* Les transferts par conduction sont traités par une méthode convolutive : celle de la transformée en Z. Les expressions du flux conductif sont établies en utilisant soit des températures de surface et là les coefficients de la transformée en Z sont des fonctions de transfert «surface-surface» ou des températures équivalentes et les coefficients sont des fonctions «ambiance-ambiance».

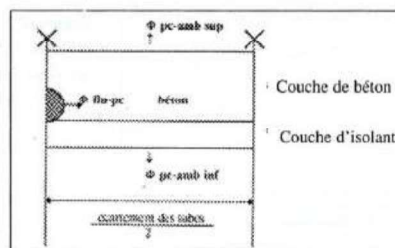
Dans le cas des coefficients ambiance-ambiance, la notion de température équivalente est utilisée. C'est une température fictive qui donnerait le même flux de chaleur que tous les phénomènes pris en compte dans le bilan thermique de la surface mise à part la conduction. Cette manière de faire simplifie considérablement les équations de bilans. Nous écrivons pour chaque face de la paroi :

$$heqe(Teqe - Tse) = \phi_{conve} + \phi_{GLOe} + \phi_{CLOe}$$

$$heqi(Teqi - Tsi) = \phi_{convi} + \phi_{GLOi} + \phi_{CLOi}$$

Les coefficients de la transformée en Z sont calculés au sein de TRNSYS en considérant les coefficients d'échange équivalents.

Figure 1 : Section de plancher chauffant étudiée



* Le transfert d'énergie par convection entre la paroi et les ambiances qu'elle sépare s'exprime simplement en fonction de l'écart entre la température de surface et la température ambiante par la loi de Newton.

La littérature assez «divergente» pour la détermination des coefficients d'échange nous a poussé à les considérer constants tout au long de la simulation.

* Les transferts radiatifs sont la somme de deux termes : flux Courtes Longueurs d'Ondes et flux Grandes Longueurs d'Ondes.

$$\phi_{rd} = \phi_{CLO} + \phi_{GLO}$$

Pour la surface extérieure, le flux GLO est exprimé en fonction des facteurs de forme entre la surface et l'environnement, la surface et la voûte céleste, de l'émissivité de la surface extérieure et de l'inclinaison de la paroi par rapport à l'horizontale. Le flux CLO est exprimé en fonction du coefficient d'absorption CLO et des éclairagements solaires direct et diffus.

Pour la surface intérieure, la méthode approuvée de l'enceinte fictive est utilisée [5], [6] afin de palier aux problèmes rencontrés lors du calcul des facteurs d'échange (présence d'obstacles : meubles ...) dans ce cas, la surface n'échange qu'avec l'enceinte fictive et non plus avec toutes les parois. Les caractéristiques de l'enceinte fictive sont alors des moyennes pondérées des caractéristiques des surfaces réelles.

2.2 Modélisation du plancher chauffant

Les transferts conductifs au sein de la dalle sont traités par un modèle convolutif : méthode des facteurs de réponse. Les hypothèses suivantes ont été émises pour simplifier les calculs :

- la température du fluide est supposée la même en tout point de la boucle ; il s'agit de la moyenne arithmétique entre les températures d'entrée et de sortie d'une boucle,
- les propriétés thermophysiques de la dalle sont supposées indépendantes de la température,
- pas de pertes thermiques sur le pourtour du plancher,
- le transfert conductif est supposé bidimensionnel et l'étude est limitée à une demi-section

droite par raison de symétrie offerte par la disposition des tubes chauffants (Figure 1).

2.3 Couplage bâtiment - plancher chauffant

Le couplage bâtiment - plancher chauffant est réalisé via la température équivalente du plancher et le flux conductif dans la dalle. Ce flux est calculé dans le module plancher chauffant (Type55 de TRNSYS) en supposant connues les températures équivalentes haute et basse du plancher. Il est ensuite traité comme une variable d'entrée du module bâtiment (Type 19) qui donne en retour une nouvelle valeur des températures équivalentes. Ce processus est ensuite répété jusqu'à la convergence.

3. Présentation des simulations réalisées

Le bâtiment simulé représente une cellule expérimentale, en cours de réalisation à l'Institut de génie civil de l'USTOOran, composée de deux pièces de même dimension et d'une surface habitable globale de 40 m², dont une, est équipée d'un PSD. La cellule a pour objectif de tester et connaître le comportement du PSD vis à vis des conditions climatiques Algériennes.

En ce qui concerne l'installation solaire, nous avons utilisé une dalle chauffante de 10 cm de béton où le réseau de tubes est posé directement sur 4 cm de polystyrène lui-même posé sur 10 cm de béton. Les capteurs solaires sont de 4 m² de surface, installés sur la toiture et inclinés de 45° face au sud (ce choix est justifié ultérieurement). Une dérivation vers un ballon d'eau chaude sanitaire est prévue afin de valoriser au maximum l'énergie solaire (en été) qui assurera en partie le préchauffage de l'ECS, un volume journalier de 150 l est délivré à l'usage à une température de 60°C.

Le système d'appoint est considéré comme un système complètement indépendant du PSD, il apportera la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir l'intérieur à sa température de consigne que nous avons fixé à 18°C. Par «énergie d'appoint», nous entendons le supplément (au solaire) d'énergie nécessaire à l'obtention du confort (température intérieure à 18°C et une production d'ECS à 60°C).

Nomenclature

PSD : Plancher Solaire Direct

ECS : Eau Chaude Sanitaire.

PER : PolyEthylène Réticulé.

Appoint : Energie complémentaire (en Kwh).

heqe, heqi : coefficients d'échange équivalents extérieur et intérieur (en X/m²K).

Teqe, Teqi : températures équivalentes intérieure et extérieure (en K).

Tse, Tsi : Températures de surface extérieure et intérieure (en K).

Pc-amb sup : énergie cédée par le plancher chauffant à l'ambiance supérieure (en Kwh).

Pc-amb inf : énergie cédée par le fluide au plancher chauffant à l'ambiance inférieure (en Kwh).

Flu - pc : énergie cédée par le fluide au plancher chauffant (en K).

TRET : Températures de retour limite du plancher chauffant (en K).

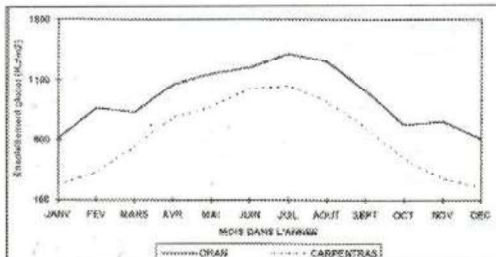


Figure 2 : Evolution de l'ensoleillement global horizontal dans les deux régions : Oran et Carpentras. Année 1992

Notons que nous étudions dans cet article seulement le local équipé du PSD supposé en contact, par tous ces murs, avec l'extérieur. Aussi le cas du plancher en contact par sa face inférieure avec un vide sanitaire est considéré.

Les données météorologiques horaires utilisées sont les données d'Oran et consistent en :

- La température extérieure;
- Les ensoleillements directs et diffus;
- La vitesse et direction du vent,
- La température du ciel;
- La température de l'eau du réseau.

4. Analyse des résultats

4.1 Comparaison entre les performances énergétiques obtenues à Oran et celles obtenues à Carpentras

Pour analyser la faisabilité du plancher solaire direct en Algérie, nous avons pensé tout d'abord à comparer les performances de ce dernier avec des données climatiques Algériennes (Oran) à celles obtenues avec des données climatiques Françaises (Carpentras). Nous avons choisi Carpentras parce qu'elle présente de bonnes conditions climatiques : un ensoleillement global horizontal moyen de 9.22 MJ/m^2 et une température extérieure moyenne de 8.05°C durant la saison de chauffage[5]. Déjà en analysant les deux courbes d'ensoleillement global des deux régions (Figure 2), nous pouvons affirmer la disponibilité généreuse de l'énergie solaire en Algérie comparée au climat Français.

En comparant d'abord les deux courbes d'ensoleillement global (Oran et Carpentras), nous remarquons nettement la richesse de l'Algérie

en énergie solaire. On peut s'attendre donc à des performances énergétiques meilleures que celles obtenues en France. En effet, en analysant la part des besoins assurée par le PSD, nous remarquons qu'à Oran le PSD arrive à satisfaire presque tous les besoins énergétiques (Figure 3). Nous notons une économie sur le chauffage de 70% contre seulement 30% à Carpentras. Pour l'ECS, l'économie à Oran est de 93%, à Carpentras, elle n'est que de 60%. Quant à l'économie globale, elle est de 90% à Oran et 45% à Carpentras c'est à dire qu'à Carpentras l'économie globale chute de 50% environ par rapport à Oran (Figure 4).

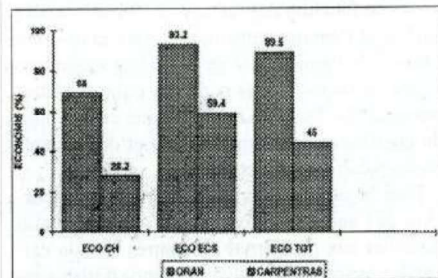
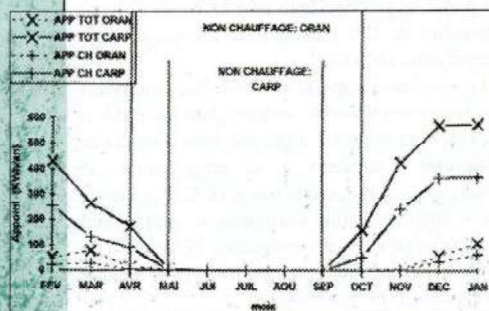


Figure 4 : Evolution de l'économie apportée par le PSD dans les deux régions : Oran et Carpentras. Dalle 10cm. 4 m^2 de capteurs solaires.

Figure 3 : Evolution de l'apport dans les deux régions : Oran et Carpentras. Dalle d'épaisseur 10cm et 4 m^2 de capteurs solaires.



En analysant maintenant l'évolution de température intérieure avec l'introduction du PSD, nous constatons que celles-ci sont toutes voisines de la température de consigne dans le climat Algérien contrairement au climat Français où le PSD n'apporte qu'une légère augmentation de températures (Figure 5).

En s'inspirant donc des installations de PSD et le succès de cette technique, largement diffusée en France nous pouvons affirmer dans un premier temps sa faisabilité en Algérie. Nous pouvons même nous attendre à de meilleures performances que celles obtenues avec le climat Français vue la disponibilité généreuse de l'énergie solaire et la « bonté » du climat. Les paramètres favorisant le succès du PSD en Algérie existent, pourquoi ne pas s'engager donc ?

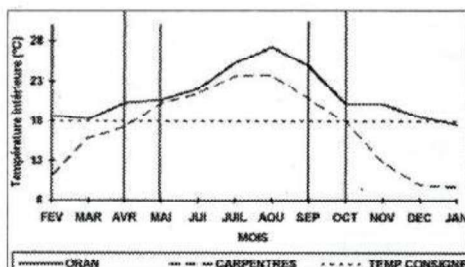


Figure 5 : Evolution de la température intérieure dans la cellule équipée de PSD dans les deux régions : Oran et Carpentras (sans appoint de chauffage), dalle 10cm et 4m² de capteurs.

4.2 Influence de l'épaisseur de la dalle

Nous avons pu constater que la réduction de l'épaisseur de la dalle chauffante s'accompagne d'une réduction de performances énergétiques du système solaire. En effet, en analysant l'économie de chauffage apportée par chaque dalle (Figure 6), nous constatons que celle-ci est d'autant plus élevée que l'épaisseur est grande. Ceci est dû au fait que lorsque l'épaisseur est réduite (le stockage réduit), l'énergie qui lui est cédée est mal «utilisée». Sachant que la quantité d'énergie cédée au plancher est pratiquement la même d'une dalle à l'autre, cette énergie est directement cédée à l'ambiance avec déphasage et amortissement fonction de l'épaisseur de la dalle

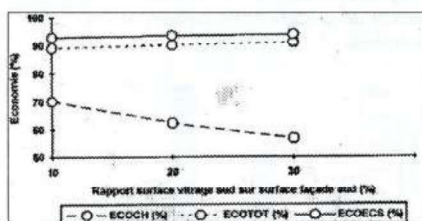


Figure 6 : Evolution de l'économie apportée par la dalle en fonction de l'épaisseur. 4m² de capteurs solaire. Oran.

En analysant maintenant l'économie totale apportée par l'installation solaire, nous dirons qu'elle est sensiblement la même d'une dalle à l'autre (Figure 6), phénomène dû à l'absence de la régulation limitant la quantité cédée au plancher.

En résumé, nous avons pu constater que :

- la réduction de performance de chauffage pour la dalle de 07 cm est de 9% par rapport à la dalle de 30 cm.

Elle n'est que de 7.5% environ pour la dalle de 10 cm.

- la réduction de performance globale est de 3.2% pour la dalle de 07 cm et de 3% seulement pour la dalle de 10 cm. C'est à dire qu'en réduisant l'épaisseur de plus de 50%, la réduction de

performances énergétiques n'est que de 3% seulement.

L'utilisation d'une épaisseur importante n'est, donc pas nécessaire, une dalle de 10 cm d'épaisseur pourra être un compromis tout à fait intéressant à condition de voir par la suite les conséquences de l'utilisation de cette épaisseur du point de vue confort.

En suivant l'évolution des températures intérieures et de surface de plancher (Figure 7), nous constatons qu'un maximum de température intérieure moyenne de 25.5°C et 28.2°C pour ce qui est des températures de surface, elles sont obtenues au mois de novembre. Avec de telles températures, nous pouvons affirmer que des surchauffes insupportables sont senties en plus de la température de surface qui dépasse 28°C, température limite de surface des planchers chauffants [7]. Signalons qu'avec 30 cm d'épaisseur, des sensations de surchauffe sont aussi senties où nous notons une température intérieure maximale de 24.7°C et celle de surface de 27.1°C.

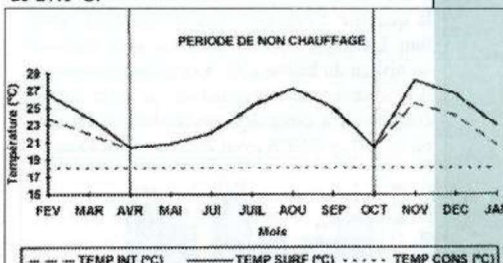


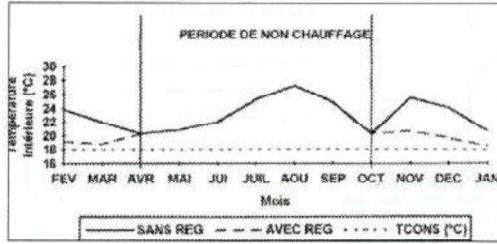
Figure 7 : Evolution des températures intérieures et de surface. Dalle 10cm et 4m² de capteurs solaires. Oran.

Nous concluons donc qu'une dalle de 10cm et 4m² de capteurs conduisent nécessairement à des surchauffes qu'il convient de contrôler. La solution est de munir le PSD d'un système de régulation [5] qui :

- coupe la circulation du fluide dès que la température de retour du plancher chauffant dépasse une valeur limite (TRET) que nous avons fixé à 25°C,

- autorise à nouveau la circulation du fluide dès que sa température est inférieure à TRET - ΔT (ΔT est fixé à 2°C) et si la température de sortie du capteur est inférieure à une valeur critique (50°C).

Figure 8 : Evolution des températures intérieures avant et après introduction du système de régulation anti-surchauffe, . Dalle 10cm et 4m² de capteurs solaires. Oran.



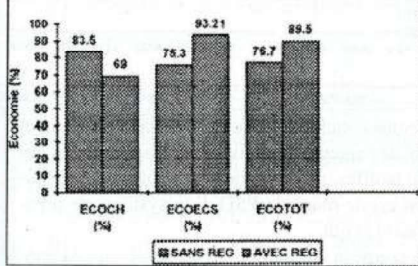
- La figure 8 permet de comparer les niveaux de températures intérieures obtenues avant et après introduction du système de contrôle.

Nous constatons que les niveaux de températures obtenues en introduisant le système de régulation anti-surchauffe sont beaucoup moins élevés que ceux obtenus sans régulateur. Nous noterons que la température intérieure maximale a chuté de 25.5 à 20.7°C et la température de surface de 28.2 à 21.8°C.

L'introduction d'un système de régulation permet donc une amélioration de confort intérieur, cependant il convient d'analyser son influence sur les performances énergétiques du PSD.

Nous constatons que la performance énergétique pour le chauffage chute avec l'introduction du système de contrôle. Cependant, cette réduction s'accompagne d'une augmentation de performance pour le poste ECS et une augmentation de performance globale pour les deux postes (Figure 9). Ceci s'explique par le fait d'introduire un système de régulation, on limite la quantité d'énergie cédée au plancher chauffant. L'énergie non valorisée est ainsi exploitée au niveau du ballon d'ECS contrairement au cas de l'absence de la régulation où cette énergie contribuait à créer des surchauffes au moment où le ballon d'ECS avait encore des besoins.

Figure 9 : Evolution de l'économie apportée par le PSD avant et après introduction du système de régulation, dalle 10 cm et 4m² de capteurs. Oran.



4.3 Choix de la surface des capteurs solaires

Mettre en place une surface de capteurs importante réduit de façon considérable les énergies d'appoint pour les deux postes : chauffage et ECS (Figure 10); et augmente la quantité d'énergie fournie par le plancher chauffant à

l'ambiance (Figure 11). Ce phénomène est dû au fait qu'en augmentant la surface des capteurs, on augmente ainsi l'énergie cédée à la dalle chauffante et au ballon d'ECS.

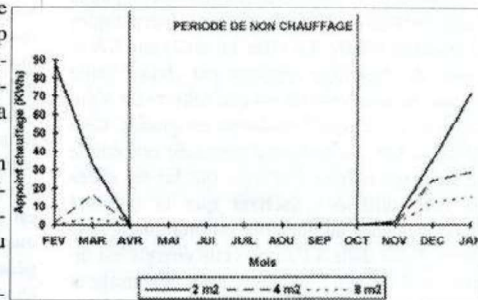


Figure 10 : Evolution de l'appoint de chauffage en fonction de la surface des capteurs solaires, Dalle 10cm Oran.

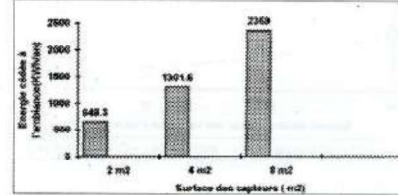


Figure 11 : Evolution de la quantité d'énergie cédée par le plancher chauffant à l'ambiance en fonction de la surface des capteurs, dalle 10 cm. Oran.

Ainsi, l'économie apportée par l'installation solaire est d'autant plus faible que la surface des capteurs est moindre (Figure 12).

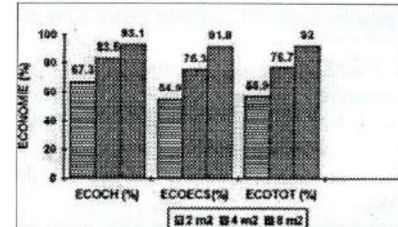
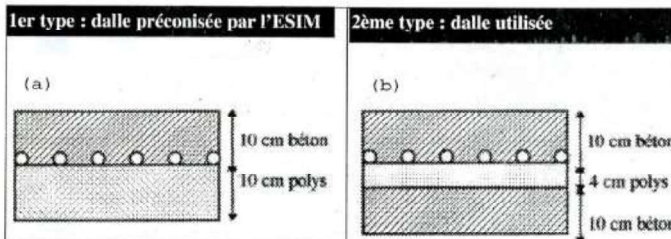


Figure 12 : Evolution de l'économie apportée par le PSD en fonction de la surface des capteurs solaires, dalle 10cm. Oran.

Figure 14 : Configurations des dalles étudiées (a et b).



Il semble important de noter que l'utilisation d'une surface de 2m² (10% de la surface du plancher chauffant) génère une économie de 60% environ, soit une économie supérieure à celle générée par 20% de capteurs dans un climat Français. Pour se contenter de 45 à 50% d'économie seulement (France), nous pourrions dire qu'un ratio surface capteurs sur surface plancher de 8 à 10% est largement suffisant dans un climat Algérien.

Nous allons voir maintenant si cette surface peut être utilisée sans système de régulation anti-surchauffe.

Pour cela, nous nous sommes intéressés à une séquence que nous avons trouvé très défavorable du point de vue surchauffes : du 1 au 10 novembre, semaine la plus chaude en période de chauffage de l'année 1992, où nous avons analysé l'évolution journalière de la température intérieure et de surface de plancher (Figure 13).

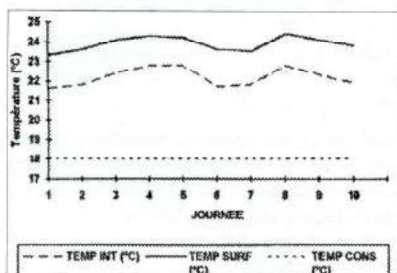


Figure 13 : Evolution des températures intérieures et de surface, période du 1 au 10 novembre, dalle 10 cm et 2m² de capteurs. Oran.

Nous avons pu constater qu'une surface de 2m² de capteurs peut être utilisée sans craindre le risque de surchauffe puisque la température intérieure ne dépasse jamais 23°C et celle de surface 24.5°C.

Seulement, comme les données climatiques sont variables, on ne peut éviter les périodes très ensoleillées, il est donc plus prudent de prévoir un système de régulation permettant d'éviter tout risque de surchauffe quelle que soit la surface des capteurs utilisée. Nous avons choisi l'utilisation de 4m² de capteurs (20% de la sur-

face du plancher) pour exploiter au maximum l'énergie solaire et minimiser l'intervention de l'appoint.

4.4 Influence de la composition du plancher chauffant

Nous avons vu que la configuration de la dalle chauffante utilisée n'est pas très courante, nous allons voir maintenant l'évolution des performances énergétiques de ce type de dalle par rapport à la configuration préconisée par l'ESIM (béton + isolant). La dalle de 10 cm a été utilisée (Figure 14).

Nous constatons que les économies calculées pour les deux types de dalles sont sensiblement les mêmes (Figure 15) bien que la configuration proposée par l'ESIM présente une légère augmentation de performances énergétiques due à l'épaisseur de l'isolant mis en œuvre qui limite d'une manière très importante les déperditions vers le vide sanitaire ce qui conduit à une augmentation de l'énergie cédée à l'ambiance (de 1301.6 à 1484.2 Kwh avec le premier type de dalle).

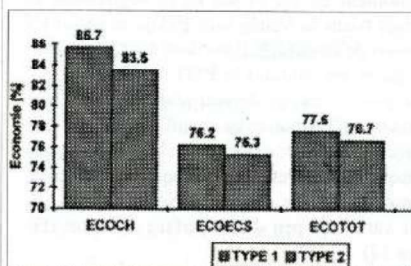
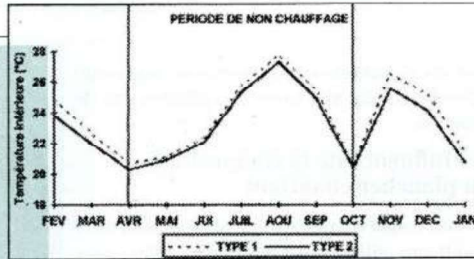


Figure 15 : Evolution des économies en fonction de la configuration du plancher, dalle 10cm et 4m² de capteurs. Oran.

En ce qui concerne l'évolution de températures intérieures, nous constatons que celles-ci sont plus élevées avec le premier type de dalle que celles obtenues avec le deuxième type bien que la différence n'excède pas 1°C environ (Figure 16).

Donc, nous pouvons dire que le choix de la composition de la dalle (qu'elle soit munie ou non d'un système de régulation) est beaucoup plus influencé par l'aspect structure que l'aspect thermique.

Figure 16 : Evolution des température intérieure en fonction de la composition du plancher chauffant. 4m² de capteurs. Oran.



4.5 Influence de la surface de vitrage en façade sud

4.5.1 Avant introduction du système de régulation

Mettre en place une surface de vitrage importante en façade sud favorise la captation solaire passive et donc contribue à une augmentation de performances énergétiques. Pour «confirmer» ceci, nous avons analysé l'évolution des besoins en fonction de la surface de vitrage en utilisant trois valeurs différentes : 10,20 et 30% de la surface totale du mur sud.

Nous avons constaté que l'augmentation de la surface de vitrage en façade sud conduit à une réduction d'économie sur le poste chauffage. Ce phénomène est dû au fait qu'en augmentant le vitrage (dans la cellule sans PSD), on réduit les besoins de chauffage, il est donc tout à fait naturel qu'en introduisant le PSD, la part d'économie générée par ce dernier soit moindre. Cette réduction d'économie de chauffage entraîne une réduction d'économie globale (Figure 17) puisque l'ECS n'est pas influencée par la variation de la surface de vitrage. Néanmoins sa valeur varie très peu d'une surface à l'autre (Figure 17).

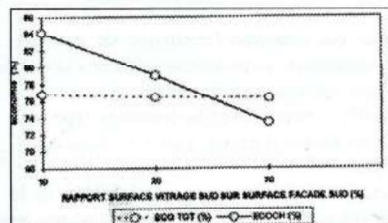


Figure 17 : Evolution de l'économie en fonction de la surface de vitrage en façade sud, dalle 10cm et 4m² de capteurs. Oran.

En analysant l'évolution de la température intérieure, nous constatons que celles-ci sont d'autant plus importantes que la surface de vitrage est grande (Figure 18). Ceci est d'autant plus accentué que l'épaisseur de dalle est mince (les apports solaires passifs et actifs sont restitués au même moment), dans ce cas il faut être prudent dans le choix de la surface de vitrage en façade sud.

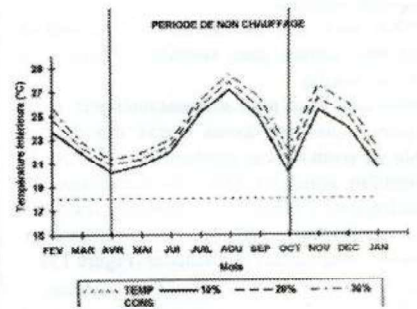


Figure 18: Evolution de la température intérieure en fonction de la surface de vitrage en façade sud. Dalle 10cm. 4m² de capteurs. Oran.

Dans un climat Algérien, il faut strictement éviter d'associer l'architecture passive et active, d'ailleurs l'augmentation de la surface des vitrages en façade sud ne conduit qu'à une réduction d'économie globale et des surchauffes estivales très accentuées.

4.5.2 Après introduction du système de régulation

En introduisant le système de régulation, la même constatation est observée sur le poste chauffage que dans le cas du PSD sans régulation : l'économie de chauffage diminue avec l'augmentation de la surface de vitrage en façade sud. Seulement dans ce cas, l'énergie non utilisée pour le chauffage est directement fournie au ballon d'ECS ce qui conduit à une meilleure utilisation de l'énergie solaire fournie par les capteurs et donc à une augmentation de l'économie globale contrairement au cas sans régulation (Figure 19)

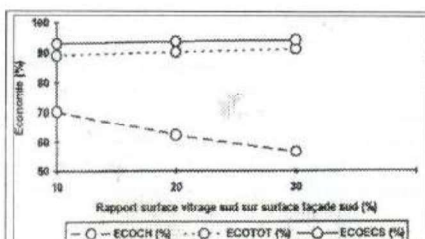


Figure 19 : Variation de l'économie en fonction de la surface de vitrage en façade sud, dalle 10cm et 4m² de capteurs. Oran.

5. Conclusion

Les simulations réalisées au cours de ce travail ont montré que l'utilisation de la technique du plancher solaire direct dans un climat Algérien est très prometteuse. Les besoins d'énergie couverts par le solaire sont de 90% environ des besoins totaux du bâtiment avec un ratio de captation de 0.2 et de 60% avec un ratio de 0.1 seulement. C'est à dire que le ratio de captation se trouve diminué et les performances énergétiques se trouvent améliorées par rapport au climat Français (40 à 50% avec un ratio de 0.2).

Nous avons montré aussi que l'utilisation

d'une dalle mince (10cm d'épaisseur) ne réduit qu'à 3% les performances énergétiques par rapport à 30cm (dalles préconisées par l'ESIM) à condition que celle-ci soit munie d'un système de régulation anti-surchauffe qui s'avère indispensable quelles que soient l'épaisseur de dalle et la surface des capteurs utilisés.

En ce qui concerne la constitution des dalles chauffantes, nous avons pu constater que celle-ci n'a pas une grande incidence sur les performances globales du système solaire (épaisseur de béton mise en œuvre identique), celle-ci est beaucoup plus influencée par l'aspect structure que l'aspect thermique. Nous avons vu aussi l'importance de l'influence de la surface de vitrage en façade sud, celle-ci doit être judicieusement dimensionnée afin d'éviter les surchauffes dues à l'action simultanée des apports solaires passifs et actifs surtout en mi-saison.

L'application de la technique du plancher solaire direct en Algérie mérite donc l'attention des thermiciens Algériens. L'étape suivante est d'analyser économiquement cette technique en la comparant aux autres techniques de chauffage traditionnelles ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] T. CABIROL et D. ROUX : "Chauffage de l'habitat et énergie solaire". Tome 2 : "Chauffage solaire de l'habitat". Edisud 1984.
- [2] T. LETZ et P. PAPILLON : "Maisons individuelles équipées d'un plancher solaire direct : Résultats d'une campagne de suivi - séminaire AFME Solaire Thermique" 1990, Sophia Antipolis, 4 et 5 Juillet 90.
- [3] D. ROUX, D. MANDINEAU et M. CHATEAUMINOIS : "Calcul des planchers solaires direct". Edisud 1983.
- [4] TRNSYS : "A transient system simulation program". Université de Wisconsin - Madison. USA.
- [5] P. PAPILLON : "Contribution à l'amélioration de la technique du plancher solaire direct". Analyse de la solution «Dalles minces» et gestion optimisée du chauffage d'appoint. Thèse de Doctorat - Université de Savoie - 1992.
- [6] A. MOKHITARI : "Etude du comportement thermique des bâtiments en contact avec le sol par l'analyse modale". Thèse de Doctorat - INSA de Lyon - 1987.
- [7] Document Technique Unifié DTU 65.8 : "Exécution des planchers à eau chaude utilisant des tubes en matériaux de synthèse noyés dans le béton.". Février 1990.

ENTP Programme de Formation Continue Séminaires

Thèmes :

- "Gestion des infrastructures portuaires" - Septembre 2001.
- "Gestion et entretien du réseau routier" - Juillet 2001.
- "Maîtrise du modèle H.D.M IV" - Juillet 2001.
- "Auscultation et pathologie des ouvrages d'art" - Juillet 2001.
- "Sécurité routière" - Octobre 2001.
- "Géotechnique routière et du bâtiment" - Octobre 2001.
- "Conduite et gestion de projets dans le domaine du BTPH". - Octobre 2001.
- "Gestion des infrastructures aéroportuaires" - Novembre 2001.